

### III.

#### NEUE VERSUCHE

mit dem *Venturischen hydraulischen Apparate*,

von

J. A. EYTELWEIN

Geheimen Oberbaurath in Berlin.

(Es ist aus den ersten Gründen der Hydraulik bekannt, daß, wenn Wasser aus einem Gefäße durch eine kleine kreisförmige Oeffnung, die sich in einer dünnen Platte befindet, ausströmt, dieses, (wegen der Art, wie der Druck sich in der darüber stehenden Wasserfäule fortpflanzt,) abgesehen von störenden Einwirkungen,) mit der Geschwindigkeit geschehen müßte, welche das ausfließende Wassertheilchen erlangen würde, wenn es frei durch eine Höhe herabfiel, die dem Wasserstande im Gefäße gleich ist. Setzt man die Wasserhöhe über dem Mittelpunkte der Oeffnung  $h$ , die Geschwindigkeit, womit das Wasser ausströmt,  $c$ , die Fallhöhe in der ersten Sekunde  $g$ , und den Querschnitt der Oeffnung  $B$ ; so müßte  $c = \sqrt{2gh}$ , oder  $c = 2 \sqrt{gh}$  seyn, und, wofern das Wasser durch die kreisförmige Oeffnung in Gestalt eines Cylinders, der gleiche Grundfläche mit der Oeffnung hat, ausströme, würde in einer Sekunde eine Wassermenge  $B \cdot 2 \sqrt{gh}$  ausfließen. Mit dieser *hypothetischen* Geschwindigkeit und Wassermenge stimmen indeß die *wirklichen* keinesweges überein; einmal, weil der Wasserstrahl nicht als ein Cylinder, sondern conisch ausfließt und sich von der Mündung ab beträchtlich verengert; und zweitens, weil im Aus-

fließen, vielleicht auch beim Zuströmen des Wassers, noch kleine störende Einwirkungen statt finden. Der Durchmesser des sich verengernden Strahls an der Stelle der größten Zusammenziehung ist, Versuchen zufolge, 0,8 vom Durchmesser der Oeffnung, folglich der Querschnitt desselben  $\frac{1}{2}^6$  von der Plattenmündung, \*) und es strömt nur 0,619 von der hypothetischen Wassermenge wirklich aus, so daß die Geschwindigkeit in der Plattenöffnung selbst nur 0,619 . c seyn kann.

Was in diesem Ausfließen geändert wird, wenn man vor der Plattenöffnung Ansatzröhren verschiedner Art anbringt, und was der Grund ist, warum cylindrische und konische Ansatzröhren den Ausfluß verstärken; damit beschäftigte sich der erste Theil von Venturi's interessanter hydrodynamischer Abhandlung, deren man sich aus Band II, Heft 4, und Band III, Heft 1 und 2 dieser Annalen erinnern wird.\*\*) Venturi giebt dort, unter andern, Vorschriften, wie man den Wasserausfluß gegen den durch eine Platte im Verhältnisse von 10 : 24 vermehren könne; seine Versuche lassen aber gerade in diesem für die Anwendung wichtigen Umstande vieles zu wünschen übrig. Sie sind es, welche H. Geheimer Oberbaur. Eytelwein nach einer vervollkommeneten Methode, mittelst eines ähnlichen Apparats als Venturi, nachdem er zuvor die Venturischen Versuche selbst wiederholt und richtig befunden hatte, durch die folgenden Versuche auf das Genügendste ergänzt. Sie sind mir von dem Herrn Verfasser

aus

\*) Vergl. *Annalen der Physik*, III, 38.

d. H.

\*\*) Untersuchungen und Beobachtungen über die Seitenmittheilung der Bewegung in flüssigen Körpern, angewandt auf die Erklärung verschiedner hydraulischer Erscheinungen, von Venturi; in den *Annalen*, II, 418 f.

d. H.

aus seinem noch nicht erschienenen *Handbuche der Hydraulik* gütigst mitgetheilt worden, und werden dem Physiker um so willkommener seyn, da der Druck dieses Hauptwerks in der Hydraulik so bald noch nicht vollendet seyn dürfte. \*) Dieses als Einleitung.)

d. H.

**D**ass sich die Wassermenge, welche aus einem Gefäße durch eine kreisrunde Oeffnung ausströmt, vermittelt angesezter *konijcher Röhren*, welche *sich gegen die Ausmündung verengern*, in Vergleichung mit andern Oeffnungen, ansehnlich vermehren läßt, zeigten schon die Versuche des Marchese J. Poleni, (*de castellis*, Flor. 1718.) Bei einer Wasserhöhe von 1' 9" 4"', und einer kreisrunden Oeffnung, für welche die hypothetische Wassermenge 27527 Kubikzoll betrug, wurden konische 92" lange Röhren vor die Oeffnung gesetzt, deren Ausmündung bei allen gleich, und zwar 26" im Durchmesser war. Als die Einmündung nach einander 118"', 60"', 42"', 33"' betrug, war die *wirklich* ausfließende Wassermenge 0,8605, 0,8844, 0,8939, 0,8992 der hypothetischen, so daß bei der konischen Form im letzten Versuche der Verlust des Wassers nur etwa  $\frac{1}{10}$  von der hypothetischen Wassermenge war.

Giebt man der konischen Ansatzröhre die Gestalt des zusammengezogenen Strahls bei Oeffnungen in

\*) Man vergl. die Auszüge aus Briefen am Ende dieses Hefts.

d. H.

einer dünnen Wand, so daß der Durchmesser der Ausmündung  $\frac{2}{3}$  vom Durchmesser der Einmündung, und die Länge der Röhre etwas größer als der Halbmesser der Einmündung ist, (wie in Fig. 1, Taf. V;) so muß das Wasser eben so ausfließen, wie durch den Querschnitt des zusammengezogenen Strahls, vorausgesetzt, daß die scharfen Ecken der konischen Röhre etwas abgerundet sind. Eine solche Röhre kann *Mündung nach der Gestalt des zusammengezogenen Strahls*, zur Abkürzung in der Folge, *Mündung  $\phi$*  heißen.

Durch den kleinsten Querschnitt des zusammengezogenen Strahls fließt eben so viel Wasser, als durch die dazu gehörige Oeffnung in einer dünnen Wand; daher muß die Geschwindigkeit in dem Querschnitte in demselben Verhältnisse zunehmen, wie sein Flächeninhalt abnimmt. Nun ist der Querschnitt des zusammengezogenen Strahls  $\frac{16}{25}$  vom Querschnitte der Oeffnung; daher muß die *Geschwindigkeit* im Querschnitte der größten Zusammenziehung, oder  $c = \frac{5}{4} \cdot 0,619 \cdot 2 \sqrt{g \sqrt{h}} = 0,9672 \cdot 2 \sqrt{g \sqrt{h}}$  seyn. Hat die Röhre  $\phi$  die erforderliche Gestalt, so ist also auch die Geschwindigkeit des Wassers in der Ausflußöffnung  $EF$ , (Fig. 1,) oder  $c = 0,9672 \cdot 2 \sqrt{g \sqrt{h}} = 7,646 \sqrt{h}$ . Für den freien Fall eines Körpers wäre die Geschwindigkeit  $= 2 \sqrt{g \sqrt{h}}$ ; hiernach verhält sich die *wirkliche Wassermenge*, welche durch die Mündung  $\phi$  bei  $EF$  ausfließt, zur *hypothetischen Wassermenge* für die Oeffnung  $EF$ , wie  $0,9672 : 1$  oder nahe  $= 30 : 31$ , und

es ist wahrscheinlich, daß beide Wassermengen gleich wären, wenn die Wassertheile nicht wegen der Adhäsion an den Wänden der Röhre verzögert würden, und wenn man  $\phi$  ganz genau die Gestalt des zusammengezogenen Strahls geben könnte.

Die Ansatzröhre  $\phi$  ist daher unter allen Ausflußöffnungen von einer bestimmten Größe die vortheilhafteste, weil das ausfließende Wasser beim Ausgange eine solche Geschwindigkeit in der Oeffnung  $EF$  erlangt, welche nur wenig von derjenigen verschieden ist, die ein Körper durch den freien Fall von der Druckhöhe erreichen würde.

Mit einer solchen Mündung hat Venturi einen Versuch angestellt. \*) Die Achse seiner Röhre war horizontal, bei einer Druckhöhe von  $52\frac{1}{2}$  par. Zoll. Der Durchmesser am Gefäße hielt 18, und bei der Ausmündung  $14\frac{1}{2}$  Linien, die ganze Länge der Röhre 11 Linien, und man fand die Wassermenge für eine Sekunde = 164,6 Kubikzoll. Die hypothetische Wassermenge ist hier 176 Kubikzoll, daher die wirkliche 0,935 von der hypothetischen. Dieses nähert sich der vorhin gefundenen Grenze 0,967 schon ansehnlich, und man würde sie erreicht haben, wenn die konische Röhre nicht scharfe Ecken gehabt hätte. \*\*)

\*) Versuch 4; *Annalen der Physik*, II, 430. d. H.

\*\*) Dies scheint in allen Venturischen Versuchen der Fall gewesen zu seyn. d. H.

Aus meinen mit einer dergleichen Mündung angestellten Versuchen, \*) wenn die Einmündung 15, die Ausmündung 12, und die Länge der Röhre 8 Linien groß war, findet sich die wirkliche Wassermenge 0,9186 von der hypothetischen. Hierbei hatte die Mündung  $\phi$  ihre scharfen Ecken behalten. Nachdem aber diese innerhalb sanft abgerundet waren, vermehrte sich die Wassermenge bis 0,9798 von der hypothetischen, so daß sich nur ein geringer Unterschied zwischen beiden befand, und eine größere Ausflußmenge als durch die Venturischen Versuche bewirkt ward.

Der Wasserverlust bei einerlei Ausmündung und gleicher Druckhöhe ist hiernach

|                                                   |                                      |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|
| bei der Mündung $\phi$ mit abgerund. Ecken 0,0202 | } v. der<br>hypot.<br>Wass-<br>serm. |
| bei der Mündung $\phi$ mit scharfen Ecken 0,0313  |                                      |
| bei einer kurzen cylindrisch. Ansatzröhre 0,1875  |                                      |
| bei einer Oeffnung in einer dünnen Wand 0,3810    |                                      |

Es giebt noch ein Mittel, wodurch, ohne Vermehrung der Druckhöhe, die Wassermenge, welche man durch eine bestimmte Oeffnung erhält, vermehrt werden kann. Statt der vorhin beschriebnen konischen Mündungsstücke, welche man konische Röhren der *ersten Art* nennen kann, die sich gegen die Ausflußöffnung verengern, kann man solche *konische Röhren* noch ansetzen, die sich nach dem Ausfluß hin erweitern, so daß die Einflußöffnung  $AB$ ,

\*) Siehe weiter unten Erfahrung 2 und 3; und Tafel 1, No. 2, 3. E.

(Fig. 2, Taf. V,) kleiner als die Ausflußöffnung  $EF$  ist, und die hier konische Röhren der zweiten Art heißen sollen.

Venturi hat hierüber wichtige Versuche angestellt. \*) Die Einmündung  $AB$  der erweiterten konischen Röhre  $ABEF$  hatte bei allen seinen Versuchen 15,5 Linien im Durchmesser, sie befand sich aber nicht unmittelbar am Behälter, sondern zwischen ihr und diesem war eine konische Röhre der ersten Art angebracht, welche beinahe die Gestalt des zusammengezogenen Strahls hatte. Die Länge  $AD$  und Ausmündung  $EF$  wurden bei jedem Versuche abgeändert, und man hatte bei unveränderter Druckhöhe von  $32\frac{1}{2}$  Zoll die größte Wassermenge, wenn  $AD$  148,  $AB$  15,5 und  $EF$  27 Linien groß war. In diesem Falle erhielt man in jeder Sekunde 329,14 par. Kubikzoll, (Verf. 16, *Annalen*, II, 450,) welches weit mehr ist, als die hypothetische Wassermenge für eine Oeffnung von  $15\frac{1}{2}$  Linien im pariser Maasse giebt. Diese konische Röhre der zweiten Art, in ihrer vortheilhaftesten Gestalt, mag hier, der Kürze halber, die Röhre  $\psi$  heißen.

Venturi beschreibt noch einen Versuch, (Verf. 14, *Annalen*, II, 449,) bei welchem zwischen der Mündung  $\phi$  und dieser konischen Ausflußröhre  $\psi$ , eine drei Zoll lange cylindrische Röhre angebracht war, wodurch ebenfalls eine Vermehrung der Waf-

\*) Satz V, Versuch 13 — 17; *Annalen der Physik*, II, 448 f. d. H.

fermenge bewirkt wurde. Weil aber keine Versuche mit dieser konischen Röhre der zweiten Art,  $\psi$ , ohne Verbindung mit andern Röhren beschrieben sind, auch von der Vermehrung der Wassermenge bei einer drei Zoll langen cylindrischen Röhre, durch Ansetzung der Röhren  $\phi$  und  $\psi$ , nicht geradezu auf längere Röhren geschlossen werden kann, und daher die Behauptung Venturi's in Satz VII, (*Annalen*, II, 460,) daß man bei einer cylindrischen Röhrenleitung, bei unveränderter Druckhöhe, durch zweckmäßige Ansatzröhren, ( $\phi$  und  $\psi$ ,) allemahl die Wassermenge im Verhältnisse 10 : 24 vermehren könne, sich nicht so geradezu annehmen läßt; so schien es mir wichtig zu seyn, über diese zur Erweiterung der Hydraulik und diesen für die Ausübung so wichtigen Gegenstand, *Versuche mit der möglichsten Genauigkeit anzustellen.*

Zu den folgenden *Versuchen* diente mir ein 4 Fuß \*) hoher prismatischer *Behälter*, dessen horizontaler Durchschnitt ein im Lichten 18,5 Zoll langes und 14,4 Zoll breites Rechteck bildete. In der schmalen vertikalen Seitenwand desselben, befindet sich in einiger Entfernung vom Boden, eine messingene *Platte*, welche mit der innern Wand des Behälters in einerlei Ebene liegt, und in die man alle metallene Ansätze oder Röhren so einschrauben kann, daß ihre Einmündung in eben die Ebene fällt. Die

\*) Alle hier gegebne Abmessungen beziehen sich auf das rheinländische Maafs. E.



Einmündung konnte mittelst einer *Klappe* nach Gefallen geöffnet oder geschlossen werden. Zur Bestimmung der Zeit diente eine sehr gut gearbeitete *Sekunden-Pendeluhr*, welche durch einen Zeiger die Sekunden bemerkte und mittelst einer Glocke durch Schläge hörbar machte. \*)

Sämmtliche *Ansatzstücke* und *Röhren* waren von Messing gearbeitet, und die innere Fläche auf genaueste polirt. Zur leichtern Vergleichung der verschiedenen Resultate beziehen sich alle Oeffnungen auf die Weite von einem Zoll, auch sind alle Abmessungen mit dem hiesigen Originalmaasse verglichen. — Die cylindrischen Röhren waren insgesammt einen Zoll weit; die Röhre  $\phi$  8 Linien lang, und in der Einmündung 15, in der Ausmündung 12 Linien oder 1 Zoll weit; und die Röhre  $\psi$   $8\frac{1}{2}$  Zoll lang, in der Einmündung 1 Zoll, und in der Ausmündung  $1\frac{10}{34}$  Zoll weit. Die Röhre  $\phi$  in Verbindung mit andern Röhren wurde nur bei der Einmündung, und  $\psi$  bei der Ausmündung angebracht.

Verschiedene angestellte Versuche zeigten kleine Unregelmäßigkeiten, wenn man das Wasser im Behälter, bei Beobachtung aller Vorsicht, auf einerlei Höhe erhalten wollte, weil es sich so leicht

\*) Diese Uhr wurde vor dem Gebrauche nach dem Chronometer des Herrn Major von Zach rectificirt, welcher sich damahls in der Verwahrung des Hrn. Lieutenant von Textor befand. E.

ereignet, daß in gewissen Augenblicken mehr oder weniger Wasser zugelassen wird, als erforderlich ist. Auch war es unvermeidlich, daß nicht durch das zufließende Wasser eine unregelmäßige Bewegung im Behälter entstand, weshalb ich es der Genauigkeit, welche diese Versuche erfordern, angemessener fand, beim Anfange eines jeden Versuchs eine *Druckhöhe* von 3 Fuß zu bewirken, und ohne Zufluß den Wasserspiegel so weit sinken zu lassen, bis ein Gefäß von 4156 Kubikzoll angefüllt war. Hierdurch senkte sich jedesmahl der Wasserspiegel im Behälter, nach oft wiederholten Ausmessungen, 15,6 Zoll, wodurch eben so genaue Vergleichen entstanden, als wenn die Druckhöhe unverändert geblieben wäre; auch hat man diesem Umstande die gute Uebereinstimmung der Versuche mit einerlei Röhre zuzuschreiben.

Alle hier angeführten Versuche sind in Gegenwart des königl. Professors Herrn Hobert angestellt oder wiederholt worden.

*Erfahrung 1.* Kreisförmige 1 Zoll weite *Oeffnung* in einer  $\frac{1}{2}$  Zoll dicken Platte mit scharfen Kanten. Die beobachtete Zeit des Ausflusses war im 1sten Versuche  $59\frac{1}{2}$ "; 2ten Versuche  $59\frac{1}{2}$ ".

*Erfahrung 2.* Das Mundstück  $\phi$  beim Einflusse  $1\frac{1}{4}$  Zoll, beim Ausflusse 1 Zoll weit, mit scharfen Kanten.

1. Versuch 40"; 2. Versuch 40".

*Erfahrung 3.* Dasselbe Mundstück  $\phi$ , wenn

die Kanten beim Ein- und Ausflusse sanft abgerundet waren.

1. Versuch  $57\frac{1}{2}''$ ; 2. Versuch  $57\frac{1}{2}''$ .

*Erfahrung 4.* Die konische  $8\frac{1}{16}$  Zoll lange Ansatzröhre  $\psi$ , beim Einflusse 1 Zoll, beim Ausflusse  $1\frac{1}{4}$  Zoll weit, mit scharfen Kanten.

1. Versuch  $31''$  }  $31''$ .  
2. Versuch  $31\frac{1}{2}''$  }

*Erfahrung 5.* Die Mundstücke  $\phi$  \*) und  $\psi$  genau mit einander verbunden.

1. Versuch  $25\frac{1}{2}''$  }  $23\frac{2}{3}''$ .  
2. Versuch  $24''$  }  
3. Versuch  $23\frac{1}{2}''$  }

*Erfahrung 6.* Cylindrische Röhre, 1 Zoll lang. Das Wasser folgte nicht den Wänden der Röhre.

1. Versuch  $59\frac{1}{2}''$ .

*Erfahrung 7.* Cylindrische Röhre, 1 Zoll lang, an der Einmündung mit  $\phi$  verbunden. Das Wasser folgte den Wänden der Röhre.

1. Versuch  $38''$  }  $38\frac{1}{4}''$ .  
2. Versuch  $38\frac{1}{2}''$  }

*Erfahrung 8.* Cylindrische Röhre, 1 Zoll lang, bei der Einmündung mit  $\phi$ , bei der Ausmündung mit  $\psi$  verbunden.

1. Versuch  $27\frac{1}{2}''$ ; 2. Versuch  $27\frac{1}{2}''$ .

\*) Wenn das Mundstück  $\phi$  ohne weitere Bemerkungen angeführt wird, so ist immer dasjenige mit

*Erfahrung 9. Cylindrische Röhre, 3 Zoll lang.*  
Das Wasser folgte nicht den Wänden der Röhre.

1. Versuch  $59\frac{1}{2}''$ .

Das Wasser folgte den Wänden der Röhre

2. Versuch  $45''$  }  
3. Versuch  $44\frac{1}{2}''$  }  $44\frac{3}{4}''$ .

Dieselbe Röhre innerhalb des Behälters angebracht, so dafs sie von allen Seiten mit Wasser umgeben war, und ihre Ausmündung mit der innern Fläche des Behälters in einerlei Ebene lag.

4. Versuch  $45''$ ; 5. Versuch  $45''$ .

Bei einer  $1\frac{1}{2}$  Zoll langen innerhalb des Behälters angebrachten Röhre, wobei das Wasser den Wänden folgte, fand man dieselbe Zeit.

*Erfahrung 10. Cylindrische 3 Zoll lange Röhre, mit der Einmündung  $\phi$ .*

1. Versuch  $39''$  }  
2. Versuch  $38\frac{1}{2}''$  }  $38\frac{1}{4}''$ .

*Erfahrung 11. Cylindrische 3 Zoll lange Röhre, mit der Ausmündung  $\psi$ .*

1. Versuch  $33\frac{1}{2}''$  }  
2. Versuch  $33''$  }  $33\frac{1}{6}''$ .  
3. Versuch  $33''$  }

Ichaffen Kanten zu verstehen, welches bei der zweiten Erfahrung zu den Versuchen diente. E.

*Erfahrung 12.* Cylindrische 3 Zoll lange Röhre, mit  $\phi$  und  $\psi$ .

1. Versuch  $27\frac{1}{2}''$ ; 2. Versuch  $27\frac{1}{2}''$ .

*Erfahrung 13.* Cylindrische 12 Zoll lange Röhre.

1. Versuch  $48''$ ; 2. Versuch  $48''$ .

*Erfahrung 14.* Cylindrische 12 Zoll lange Röhre, mit  $\phi$ .

1. Versuch  $42\frac{1}{2}''$ ; 2. Versuch  $42\frac{1}{2}''$ .

*Erfahrung 15.* Cylindrische 12 Zoll lange Röhre, mit  $\psi$ .

1. Versuch  $37\frac{1}{2}''$   
2. Versuch  $38''$   
3. Versuch  $37\frac{1}{2}''$  }  $37\frac{3}{4}''$ .

*Erfahrung 16.* Cylindrische 12 Zoll lange Röhre, mit  $\phi$  und  $\psi$ .

1. Versuch  $53''$   
2. Versuch  $53\frac{1}{2}''$  }  $53\frac{3}{4}''$ .

*Erfahrung 17.* Cylindrische 24 Zoll lange Röhre.

1. Versuch  $50''$   
2. Versuch  $51''$  }  $50\frac{1}{2}''$ .

*Erfahrung 18.* Cylindrische 24 Zoll lange Röhre, mit  $\phi$ .

1. Versuch  $46''$ .

*Erfahrung 19.* Cylindrische 24 Zoll lange Röhre, mit  $\psi$ .

1. Versuch,  $40\frac{1}{2}''$   
2. Versuch  $41''$   
3. Versuch  $41''$  }  $40\frac{1}{6}''$

*Erfahrung 20.* Cylindrische 24 Zoll lange Röhre, mit  $\phi$  und  $\psi$ .

1. Versuch  $37\frac{1}{2}''$ ; 2. Versuch  $37\frac{1}{2}''$ .

*Erfahrung 21.* Cylindrische 36 Zoll lange Röhre.

1. Versuch  $54''$ ; 2. Versuch  $54''$ .

*Erfahrung 22.* Cylindrische 36 Zoll lange Röhre, mit  $\phi$ .

1. Versuch  $49\frac{1}{2}''$ ; 2. Versuch  $49\frac{1}{2}''$ .

*Erfahrung 23.* Cylindrische 36 Zoll lange Röhre, mit  $\psi$ . Das Wasser folgte nicht den Wänden der Röhre  $\psi$ , sondern nur dem Untertheile derselben.

1. Versuch  $52\frac{1}{2}''$ .

Wenn das Wasser genöthigt wurde, den Wänden der Röhre  $\psi$  zu folgen.

2. Versuch  $44''$ ; 3. Versuch  $44''$ ; 4. Versuch  $44''$ .

*Erfahrung 24.* Cylindrische 36 Zoll lange Röhre, mit  $\phi$  und  $\psi$ .

1. Versuch  $40\frac{1}{2}''$ ; 2. Versuch  $40\frac{1}{2}''$ .

*Erfahrung 25.* Cylindrische 48 Zoll lange Röhre.

1. Versuch  $58''$ ; 2. Versuch  $58''$ .

*Erfahrung 26.* Cylindrische 48 Zoll lange Röhre, mit  $\phi$ .

1. Versuch  $53\frac{1}{2}''$  }  
2. Versuch  $53''$  }  $53\frac{1}{4}''$ .

*Erfahrung 27.* Cylindrische 48 Zoll lange Röhre, mit  $\psi$ . Das Wasser folgte den Wänden der Röhre.

1. Versuch 48"; 2. Versuch 48".

*Erfahrung 28.* Cylindrische 60 Zoll lange Röhre.

1. Versuch 61"; 2. Versuch 61".

*Erfahrung 29.* Cylindrische 60 Zoll lange Röhre, mit  $\varphi$ .

1. Versuch 57" }  
2. Versuch 56 $\frac{1}{2}$ " } 56 $\frac{3}{4}$ ".

*Erfahrung 30.* Cylindrische 60 Zoll lange Röhre, mit  $\psi$ . Das Wasser folgte den Wänden der Röhre  $\psi$ , außer etwa  $\frac{1}{3}$  des Obertheils blieb unausgefüllt, und das Wasser war durch keinen Kunstgriff dahin zu bringen, daß es die Röhre ganz ausfüllte.

1. Versuch 52"; 2. Versuch 52".

Um die vorstehenden Erfahrungen besser zu übersehen und auf eine gemeinschaftliche Einheit zurückzuführen, darf man nur die Zeit bestimmen, in welcher bei der anfänglichen Druckhöhe von 3 Fuß und den übrigen bekannten Abmessungen, 4156 Kubikzoll Wasser durch eine 1 Zoll weite kreisförmige Oeffnung ablaufen, indem man voraussetzt, daß weder Contraction noch andere Hindernisse die Bewegung des Wassers aufhalten, sondern dasselbe eben die Geschwindigkeit in der Oeffnung, wie ein frei fallender Körper erlangt. Dieses giebt die Zeit

für die *hypothetische Wassermenge*  $= 36,745''$ . Da nun die Zeiten des Ausflusses gleicher Wassermengen, bei gleichen Gefäßen ohne Zuflufs, die sich mit verschiedner Contraction ausleeren, umgekehrt wie die Wassermengen verhalten, welche bei unveränderten Druckhöhen und mit derselben Contraction in gleichen Zeiten auslaufen würden; \*) so giebt dieses ein leichtes Mittel, bei sämmtlichen vorstehenden Erfahrungen anzugeben, wie sich *die Wassermenge, welche bei unveränderter Druckhöhe ausgelaufen wäre, zur hypothetischen* verhält.

\*) Wenn  $T$  die Zeit ist, in welcher sich das Gefäß, dessen Querschnitt  $A$  und Ausflufsöffnung  $a$  ist, ohne Contraction bei der anfänglichen Druckhöhe  $h$  um die Tiefe  $k$  ausleert, und  $t$  diese Zeit für eine bestimmte Contraction bei eben diesem Gefäße bezeichnet; und wenn ferner bei unveränderter Druckhöhe  $h$  in der Zeit  $\tau$  ohne Contraction die Wassermenge  $M$ , und in eben der Zeit mit Contraction die Wassermenge  $m$  ausläuft; und wenn endlich  $\alpha$  den Coefficienten bedeutet, womit  $\sqrt{h}$  multiplicirt werden muß, damit man  $c$  erhalte: so ist nach hydraulischen Gründen

$$T = \frac{2}{2\sqrt{g}} [\sqrt{h} - \sqrt{(h-k)}] \frac{A}{a} \text{ und}$$

$$t = \frac{2}{\alpha} [\sqrt{h} - \sqrt{(h-k)}] \frac{A}{a}.$$

Ferner  $M = \tau a 2 \sqrt{g} \sqrt{h}$  und

$m = \tau a \alpha \sqrt{h}$ ; daher verhält sich

$T : t = \alpha : 2 \sqrt{g}$  und

$m : M = \alpha : 2 \sqrt{g}$ ; folglich

$$T : t = m : M,$$

E.



In der folgenden *ersten Tafel* bedeutet  $\phi$  die *Einmündung* mit scharfen,  $\phi'$  dieselbe mit abgerundeten Kanten, und  $\psi$  die *Ausmündung*. In den Versuchen, wobei diese Buchstaben stehen, wurden diese Ansatzröhren gebraucht, in den übrigen nicht. Das hinterste Ende der Einmündungen, das vorderste der Ausmündungen, und alle cylindrische Röhren waren genau 1 Zoll weit; die Zahl von Zollen in der zweiten Spalte zeigt die Länge der angewandten cylindrischen Röhre an. Die wirkliche Wassermenge in der letzten Spalte ist in Theilen der hypothetischen Wassermenge, als Einheit, ausgedrückt.

*Erste Tafel.*

| Erfahrung. | Ansatzröhren.        | Beobachtete Zeit des Anströmes, Sekunden. | Wirkliche Wassermenge in Theilen der hypothetischen. |
|------------|----------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | ( $\frac{1}{34}$ " ) | 59 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,6176                                               |
| 2          | φ 0"                 | 40"                                       | 0,9186                                               |
| 3          | φ 0                  | 37 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,9798                                               |
| 4          | 0 ψ                  | 31 $\frac{1}{4}$ "                        | 1,1758                                               |
| 5          | φ 0 ψ                | 23 $\frac{3}{4}$ "                        | 1,556                                                |
| 6          | 1"                   | 59 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,6176                                               |
| 7          | φ 1                  | 38 $\frac{1}{4}$ "                        | 0,9606                                               |
| 8          | φ 1 ψ                | 27 $\frac{1}{2}$ "                        | 1,3362                                               |
| 9          | 3"                   | 44 $\frac{1}{4}$ "                        | 0,8211                                               |
| 10         | φ 3                  | 38 $\frac{3}{4}$ "                        | 0,9482                                               |
| 11         | 3 ↓                  | 33 $\frac{1}{8}$ "                        | 1,1079                                               |
| 12         | φ 3 ↓                | 27 $\frac{1}{2}$ "                        | 1,3362                                               |
| 13         | 12"                  | 48"                                       | 0,7655                                               |
| 14         | φ 12                 | 41 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,8646                                               |
| 15         | 12 ↓                 | 37 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,9798                                               |
| 16         | φ 12 ↓               | 33 $\frac{1}{4}$ "                        | 1,1051                                               |
| 17         | 24"                  | 50 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,7276                                               |
| 18         | φ 24                 | 46"                                       | 0,7988                                               |
| 19         | 24 ↓                 | 40 $\frac{5}{8}$ "                        | 0,8999                                               |
| 20         | φ 24 ↓               | 37 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,9798                                               |
| 21         | 36"                  | 54"                                       | 0,6804                                               |
| 22         | φ 36                 | 49 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,7523                                               |
| 23         | 36 ↓                 | 44"                                       | 0,8351                                               |
| 24         | φ 36 ↓               | 40 $\frac{1}{2}$ "                        | 0,9073                                               |
| 25         | 48"                  | 58"                                       | 0,6335                                               |
| 26         | φ 48                 | 53 $\frac{1}{4}$ "                        | 0,6900                                               |
| 27         | 48 ↓                 | 48"                                       | 0,7655                                               |
| 28         | 60"                  | 61"                                       | 0,6024                                               |
| 29         | φ 60                 | 56 $\frac{1}{4}$ "                        | 0,6475                                               |
| 30         | 60 ↓                 | 52"                                       | 0,7066                                               |

In der vorstehenden Tafel sind sämtliche Versuche nach der Länge der einen Zoll weiten Röhren geordnet. Stellt man aber diejenigen Versuche zusammen, welche sich auf Röhren von einerlei Art be-

beziehen, so entstehen zur bessern Vergleichung noch folgende vier Tafeln.

Zweite Tafel.

*Cylindrische Röhren ohne Einmündung  
oder Ausmündung.*

|   | Länge der<br>cylindri-<br>schen Röhre,<br>Zoll. | Beobachtete<br>Zeit des Aus-<br>flusses,<br>Sekunden. | Wirkliche<br>Wassermenge<br>in Theilen<br>der hypothe-<br>tischen. |
|---|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 | ( $3\frac{1}{4}$ )                              | $59\frac{1}{2}$                                       | 0,6176                                                             |
| 2 | 1                                               | $59\frac{1}{2}$                                       | 0,6176                                                             |
| 3 | 3                                               | $44\frac{1}{4}$                                       | 0,8211                                                             |
| 4 | 12                                              | 48                                                    | 0,7655                                                             |
| 5 | 24                                              | $50\frac{1}{2}$                                       | 0,7276                                                             |
| 6 | 36                                              | 54                                                    | 0,6804                                                             |
| 7 | 48                                              | 58                                                    | 0,6335                                                             |
| 8 | 60                                              | 61                                                    | 0,6024                                                             |

Dritte Tafel.

*Cylindrische Röhren mit der Einmün-  
dung  $\varnothing$ .*

|   | Länge der<br>cylindri-<br>schen Röhre,<br>Zoll. | Beobachtete<br>Zeit des Aus-<br>flusses,<br>Sekunden. | Wirkliche<br>Wassermenge<br>in Theilen<br>der hypothe-<br>tischen. |
|---|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 | $\varnothing$ 0                                 | 40                                                    | 0,9186                                                             |
| 2 | $\varnothing$ 1                                 | $38\frac{1}{4}$                                       | 0,9606                                                             |
| 3 | $\varnothing$ 3                                 | $38\frac{1}{4}$                                       | 0,9482                                                             |
| 4 | $\varnothing$ 12                                | $42\frac{1}{2}$                                       | 0,8646                                                             |
| 5 | $\varnothing$ 24                                | 46                                                    | 0,7988                                                             |
| 6 | $\varnothing$ 36                                | $49\frac{1}{2}$                                       | 0,7423                                                             |
| 7 | $\varnothing$ 48                                | $53\frac{1}{2}$                                       | 0,6900                                                             |
| 8 | $\varnothing$ 60                                | $56\frac{1}{4}$                                       | 0,6475                                                             |

## Vierte Tafel.

*Cylindrische Röhren mit der Ausmündung  $\psi$ .*

|   | Länge der<br>cylindri-<br>schen Röhre.<br>Zoll. | Beobachtete<br>Zeit des Aus-<br>flusses.<br>Sekunden. | Wirkliche<br>Wassermenge<br>in Theilen<br>der hypothe-<br>tischen. |
|---|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 | 0 $\psi$                                        | 31 $\frac{1}{2}$                                      | 1,1753                                                             |
| 2 | 3 $\psi$                                        | 33 $\frac{1}{2}$                                      | 1,1079                                                             |
| 3 | 12 $\psi$                                       | 37 $\frac{1}{2}$                                      | 0,9798                                                             |
| 4 | 24 $\psi$                                       | 40 $\frac{1}{2}$                                      | 0,8909                                                             |
| 5 | 36 $\psi$                                       | 44                                                    | 0,8351                                                             |
| 6 | 48 $\psi$                                       | 48                                                    | 0,7635                                                             |
| 7 | 60 $\psi$                                       | 52                                                    | 0,7066                                                             |

## Fünfte Tafel.

*Cylindrische Röhren mit der Einmündung  $\phi$  und der Ausmündung  $\psi$ .*

|   | Länge der<br>cylindri-<br>schen Röhre.<br>Zoll. | Beobachtete<br>Zeit des Aus-<br>flusses.<br>Sekunden. | Wirkliche<br>Wassermenge<br>in Theilen<br>der hypothe-<br>tischen. |
|---|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 | $\phi$ 0 $\psi$                                 | 23 $\frac{2}{3}$                                      | 1,5526                                                             |
| 2 | $\phi$ 1 $\psi$                                 | 27 $\frac{1}{2}$                                      | 1,3561                                                             |
| 3 | $\phi$ 3 $\psi$                                 | 27 $\frac{1}{2}$                                      | 1,3361                                                             |
| 4 | $\phi$ 12 $\psi$                                | 33 $\frac{1}{2}$                                      | 1,1051                                                             |
| 5 | $\phi$ 24 $\psi$                                | 37 $\frac{1}{2}$                                      | 0,9798                                                             |
| 6 | $\phi$ 36 $\psi$                                | 40 $\frac{1}{2}$                                      | 0,9073                                                             |

Die in diesen Tafeln geordneten Erfahrungen berechtigen uns zu folgenden Schlüssen.

1. Unter übrigens gleichen Umständen verhalten sich die Wassermengen, die aus einer Oeffnung in einer dünnen Wand, zu denen, die aus der Mündung  $\psi$ , nach der Form des zusammengezogenen Strahls, ausfließen, wenn die Ausmündung

der Röhre  $\Phi$  gleiche Weite mit der Oeffnung in der dünnen Wand hat, wie  $40 : 59\frac{1}{2}$ , das ist, wie  $1 : 1,487$ ;

und sind die scharfen Kanten der Mündung  $\Phi$  abgerundet, wie  $57\frac{1}{2} : 59\frac{1}{2}$ , oder wie  $1 : 1,587$ .

2. Bei einer Oeffnung in einer dünnen Wand, zur Mündung  $\psi$ , wenn die Einmündung der Röhre  $\psi$  der Oeffnung in der dünnen Wand gleich ist, wie  $51\frac{1}{4} : 59\frac{1}{2}$ , oder wie  $1 : 1,904$ .

3. Bei einer Oeffnung in einer dünnen Wand, zu der aus den Röhren  $\Phi$  und  $\psi$  zusammengesetzten Mündung, wie  $25\frac{3}{4} : 59\frac{1}{2}$ , das ist, wie  $1 : 2,514$ .

Es ist bemerkenswerth, daß durch diese Zusammenfassung um die Hälfte mehr Wasser ausläuft, als wenn das Wasser wie ein frei fallender Körper beschleunigt würde.

4. Die Wassermenge bei einer kurzen cylindrischen Ansatzröhre, verhält sich zu der, mit der kurzen Ansatzröhre verbundenen Einmündung  $\Phi$ , wie  $38\frac{3}{4} : 44\frac{1}{4}$ , oder wie  $1 : 1,154$ .

5. Bei einer kurzen cylindrischen Ansatzröhre, zu dieser Röhre mit der Ausmündung  $\psi$  verbunden, wie  $35\frac{1}{2} : 44\frac{1}{4}$ , oder wie  $1 : 1,549$ .

6. Bei einer kurzen Ansatzröhre, zu dieser mit der Ein- und Ausmündung  $\Phi$  und  $\psi$  verbundenen Röhre, wie  $27\frac{1}{2} : 44\frac{1}{4}$ , das ist, wie  $1 : 1,627$ .

So weit diese Schlüsse von Oeffnungen in einer dünnen Wand oder von kurzen Ansatzröhren gelten, können sie durch die beschriebnen Versuche gerechtfertigt werden; wenn aber Venturi in seinen Un-

versuchungen etc., Satz VII, (*Annalen der Physik*, II, 460,) behauptet, daß man durch angemessene Ein- und Ausmündungen bei jeder cylindrischen Röhre die Wassermenge im Verhältnisse von 10 zu 24 vermehren könne, und sich dieserhalb auf seine Versuche mit 3 Zoll langen Röhren beruft; so ist offenbar der Schluß von kurzen Ansatzröhren zu weit ausgedehnt, wenn er von jeder cylindrischen Röhre gelten soll.

Daß bei längern Röhren die Wassermenge nicht in einem eben so großen Verhältnisse vermehrt wird, wie bei kurzen Ansatzröhren, beweisen meine Versuche hinlänglich, und es muß irgend eine Röhrenlänge geben, wo die Mündungen  $\Phi$  und  $\Psi$  gar keine Vermehrung der Wassermenge bewirken.

Vergleicht man die Wassermengen der zweiten Tafel mit denen der dritten, so stehen die Vermehrungen, welche durch die Einmündung  $\Phi$  bewirkt werden, in folgenden Verhältnissen:

Länge der Röhre:

|        |                                             |
|--------|---------------------------------------------|
| 3 Zoll | $38\frac{3}{4} : 44\frac{3}{4} = 1 : 1,154$ |
| 12 —   | $42\frac{1}{2} : 48 = 1 : 1,129$            |
| 24 —   | $46 : 50\frac{1}{2} = 1 : 1,098$            |
| 36 —   | $49\frac{1}{2} : 54 = 1 : 1,091$            |
| 48 —   | $53\frac{1}{4} : 58 = 1 : 1,089$            |
| 60 —   | $56\frac{3}{4} : 61 = 1 : 1,075$            |

woraus hervorgeht, daß die Mündung  $\Phi$  die Wassermenge bei langen Röhren nicht eben so vermehrt, wie bei kurzen Ansatzröhren.

Dasselbe gilt von der Ausmündung  $\psi$ .

Länge der Röhre:

|        |                 |                               |
|--------|-----------------|-------------------------------|
| 3 Zoll | $33\frac{1}{8}$ | $: 44\frac{1}{4} = 1 : 1,349$ |
| 12 —   | $37\frac{1}{2}$ | $: 48 = 1 : 1,280$            |
| 24 —   | $40\frac{5}{8}$ | $: 50\frac{1}{2} = 1 : 1,236$ |
| 36 —   | 44              | $: 54 = 1 : 1,227$            |
| 48 —   | 48              | $: 58 = 1 : 1,208$            |
| 60 —   | 52              | $: 61 = 1 : 1,173$            |

Aehnliche Abnahme in der Vermehrung der Wassermenge findet man für längere Röhren, wenn die Mündungen  $\phi$  und  $\psi$  zusammen angebracht werden. Auch habe ich zur Ueberzeugung, daß bei einer gewissen Länge der Röhre die Mündung  $\psi$  keine Vermehrung der Wassermenge bewirke, unter 3 Fufs Druckhöhe, mit einer 20 Fufs langen Röhre Versuche angestellt, bei welcher immer eben dieselbe Wassermenge in gleicher Zeit erhalten wurde, man mochte  $\psi$  anbringen oder nicht; auch war es nicht möglich, zu bewerkstelligen, daß das Wasser die ganze Röhre  $\psi$  ausfüllte, weil es sich immer von dem obern Theile derselben losriß.

Wenn es nun gleich wahrscheinlich ist, daß für kleinere Geschwindigkeiten des ausfließenden Wassers die Weite der Ausmündung der Röhre  $\psi$  kleiner werden muß, so läßt sich doch absehen, daß, wenn hierdurch auch eine geringe Vermehrung der Wassermenge bewirkt wird, diese doch nie so beträchtlich seyn kann, wie sie Venturi angiebt.

---